

연구논문

대기 중 CO₂ 및 토양 중 Pb 농도 증가가 공벌레의 성장과 공벌레 체내 Pb 축적에 미치는 영향에 관한 연구

황화연 · 이상돈

이화여자대학교 공과대학 환경공학과
(2010년 8월 31일 접수, 2010년 10월 30일 승인)

Studies on Effect of CO₂ Concentration in Air and Pb Concentration in Soil on Pillbug Growth and Bio-accumulation

Hwa-yeon Whang · Sang-Don Lee

Department of Environmental Science and Engineering, College of Engineering,
Ewha Womans University, Seoul 120-750, Korea

(Manuscript received 31 August 2010; accepted 30 October 2010)

Abstract

In nature, the overall effect of heavy metals on the biota can be influenced by a number of environmental factors like soil characteristics and air pollution by elevated CO₂.

Pillbugs(*Isopoda*, *Armadillium vulgare*) take up heavy metals with their food and store them mainly in the vesicles of hepatopancreas. They accumulate certain metals, occurring in relatively large numbers, are easily collected and identified. Therefore, it has been suggested that total body concentration of metals in pillbugs could be positively correlated to the levels of environmental exposure and that pillbugs could be used as biological indicators of metal pollution and global change by CO₂.

The aim of the study is to determine effects of heavy metal concentrations in soil and elevated CO₂ on pillbugs' body accumulation of heavy metal and growth rate.

In this study, pillbugs were collected at five sites (N=287) May 2006. Cu and Zn concentrations in pillbugs were higher than in soils (1.39-41.70 times) than in control. The high bioconcentration of lead in Sangam may be partly associated with reclaimed land uses. Pillbugs in low CO₂ and Pb condition showed higher growth rate than in elevated CO₂ and Pb condition.

Keywords : soil, pillbugs, heavy metals, Pb, CO₂

1. 서론

토양 중 중금속 농도는 대기 중 CO₂ 농도의 증가와도 관련이 있다. 산업 활동에 의한 대기 중 CO₂ 증가는 최근 산업의 발달과 함께 생산성, 생물 다양성 변화 등 생태계에 많은 영향을 미친 여러 요인 중 가장 중요한 요인들로 꼽힌다. 대기 중 CO₂가 증가했을 때 뿌리의 생체량이 96% 증가하였으며 더불어 토양 호흡이 39% 증가하는 것으로 나타났다(Hattenschwiler and Bretscher, 2001). 이로 인해 토양 용존 유기 탄소의 양이 증가할 경우 산림 토양에서 Cd, Pb, Ni 등의 흡착능이 다소 감소하는 것으로 보고된 바 있다(Shaun and Dickinson, 1995). 따라서 이들 원소가 식물이나 미생물에 의해 흡수되거나 이용될 수 있는 양이 많아진다(조와 현, 2001). 최근에는 대기 중 증가한 CO₂의 영향으로 산림 생태계의 식생에 의한 soluble organic carbon의 양이 증가할 경우 중금속을 비롯한 산림 토양의 독극물이 생산자, 소비자, 분해자에 의해 얼마나 흡수되거나 이용될 수 있는지에 대한 연구가 수행되어 왔다(Stephen *et al.* 1988; Sherwood and Keith, 2001; Mohan *et al.*, 2006). 이 분야에서 공벌레는 아직 연구된 바가 드물지만 Hattenschwiler and Bretscher(2001)은 대기 중 CO₂가 높은 조건에서 공벌레의 먹이 선택이 달라짐을 보이기도 했다.

공벌레는 등각목(Isopod)의 육상갑각류로 번식기는 6-7월이며 수명은 3-5년이고 최고 20 mm 정도까지 자란다. 주로 산림의 바위 및 표토층이 풍부한 지역, 도시의 오래된 빌딩이나 도로변에도 서식하는데 이는 공벌레의 껍질을 형성하기 위해 석회를 섭취하기 위함이다. 단단한 껍질이 수분 증발을 감소하는 역할을 하여 낮은 습도에서도 살 수 있다. 수분이 없는 건조한 환경에서는 몸을 둥글게 함으로써 단기간의 생존이 가능하다. 잡식성이지만 주로 식물의 낙엽과 토양 부식질을 섭취하며 때로 동물의 사체도 먹는다. 토양 생태계에서 공벌레의 물질 분해능력은 millipedes(노래기류)의 4배에 달한다(Neuhauser and Hartenstein, 1978). 유충에서 성충이 되기까지 1주일에 1번 정도 허물을 벗으

며, 성충이 된 후에도 성장은 계속된다.

따라서 공벌레는 CO₂와 중금속 관련 연구에 활용가능하다고 볼 수 있으나 국내에서는 공벌레를 이용한 생태학적 연구가 아직 실시되지 않고 있다. 이에 본 연구에서는 각각 다른 환경에 있는 다섯 지역의 토양과 공벌레를 채집하고 중금속 농도를 비교하고자 한다. 또한 대기 중 CO₂ 증가와 Pb 오염이 공벌레의 성장에 어떤 영향을 미치는지 조사하고자 한다.

II. 연구지역 및 조사방법

1. 토양과 공벌레의 준비

본 연구에서 사용된 토양은 이화여대 약초원에서 제공받은 식물식재용 토양과 마사를 1:1로 섞고 PbNO₃ 용액으로 Pb 500mg/soil kg로 인위오염시킨 것과 오염시키지 않은 것을 사용하였다. 소나무(*Pinus densiflora*) 2년생 묘목은 KIST 산림과 학원에서 제공받았다. 실험은 2개의 25℃ 항온항습 배양실 내에서 이루어졌으며 CO₂의 농도를 380ppm과 760ppm의 2가지 상태로 조절하였다. 실험군은 총 4군으로 나누었으며 각 실험군에는 소나무 묘목 1그루와 토양 200g을 넣은 직경 15cm, 높이 17cm의 화분 2개씩을 투입하였다. 공벌레는 2005년 5월 초에 이화여대 공학대학 부근 산림에서 채집한 뒤 25℃ 항온항습배양실에서 12/12시간(명/암)의 조명조건에 적응시켰다. 실험 기간 중에 각 화분의 토양의 습도를 유지하기 위해 2-3일마다 증류수를 200ml씩 공급하였다.

A group : Pb 0mg/kg, CO₂ 380ppm

B group : Pb 500mg/kg, CO₂ 380ppm

C group : Pb 0mg/kg, CO₂ 760ppm

D group : Pb 500mg/kg, CO₂ 760ppm

실험은 1차와 2차로 나누어 진행되었으며 1차 실험은 2005년 7월-8월, 2차는 2005년 10월-11월에 시행되었다. 1차는 토양과 공벌레를 동시에 투입하였다. 화분 1개당 공벌레 6마리가 되게 하였고 각 개체 표면에 Testors사의 lead-free 에나멜 도료

로 6가지의 각각 다른 색을 marking하여 구분될 수 있도록 하였다. 2차는 토양 세팅 8주 후에 공벌레를 화분 1개당 10마리 투입하였으며 marking은 하지 않았다. 또한 1차 실험은 31일 후 공벌레의 무게, 키, 폭의 성장률만을 구하였으며 2차 실험은 성장률과 체내 Pb 오염 증가 정도도 구하였다.

2. 공벌레의 성장 측정

공벌레의 길이와 폭은 투명 플라스틱판으로 눌러 공벌레가 몸을 편 상태에서 측정하였으며 최소단위는 0.5mm이다. 무게는 최소 눈금 0.001(g)인 저울로 측정 후 mg으로 환산하였다. 성장률(Growth rate)은 $\frac{(C_{after}^{31\ days} - C_{initial})}{C_{initial}} \times 100\%$ 로 구하였다. C는 각 군별 공벌레 개체의 값으로, 1차의 경우 각 개체의 성장률을 구한 뒤 군별로 산술평균하였고, 2차의 경우 각 군의 무게, 키, 폭 값을 산술평균하여 성장률을 구하였다.

3. 토양의 물리화학적 특성 분석

토양의 물리화학적 성질은 초기 샘플과 12주 후 샘플을 각각 분석하였다. 채집한 토양은 돌, 자갈, 식물 뿌리 등을 제거한 후 2mm 체로 쳤다. 분석 항목은 pH, 토양 함수량, 유기물함량, CEC이며 분석이다.

4. 토양과 공벌레의 Pb 농도 분석

공벌레의 Pb 축적 정도 및 토양에서의 Pb 이동을 분석하기 위하여 토양 및 공벌레의 Pb 농도를 분석하였다. 공벌레는 실험 시작 전과 실험 시작 후 9일,

20일, 31일에 사망한 개체를 분석하였으며, 토양의 Pb 분석은 초기 샘플과 12주 후 샘플에 대해 이루어졌다.

5. 통계 분석

본 실험에서 얻어진 결과의 통계학적 유의성 검정은 SPSS(ver. 12.0K) program을 이용하여 실시하였다. 공벌레 성장 관측치들의 정규성 검정을 실시하였으며 정규분포를 만족할 시 1차 실험의 경우 각 실험군별 성장과 생존에 유의한 차이가 있는지 알기 위해 One-way ANOVA test를 시행하였으며(P < 0.05), 사후 분석은 Duncan's multiple range test를 사용하였다. 2차 실험의 경우 시간에 따른 공벌레의 각 실험군별 성장 변화에 유의한 차이가 있는지 알아보기 위하여 반복측정 일원배치 분산분석(Repeated Measure ANOVA)를 사용하였으며(P < 0.05), 사후 검정은 Tukey's test를 사용하였다. 측정 결과는 평균±표준편차로 나타내었으며 성장률은 평균값만을 나타내었다. 또한 초기 sample과 12주 후 토양의 물리화학적 성질과 Pb 잔존 농도 비교를 위해 two sample t-test를 사용하였다(P < 0.05).

III. 결 과

1. 31일 후 공벌레의 성장률 비교

1차 실험에서 31일간 네 실험군의 공벌레의 성장 변화를 관찰하고 비교하였다(표 1). 자연 상태의 토

Table 1. Average growth change rate of *Armadillium vulgare* samples

	Body weight (mg)			Length (mm)			width (mm)		
	Initial	After 1 month	Growth change (%)	Initial	After 1 month	Growth change (%)	Initial	After 1 month	Growth change (%)
A	11.4±4.5	17.8±4.1	67.5	8.3±2.6	8.0±1.2	^{a)} 12.2	3.3±0.6	2.8±1.0	^{a)} 40.4**
B	12.6±5.8	16.8±4.9	48.5	7.0±1.4	7.4±0.6	9.1	2.8±0.3	2.6±0.6	^{a)} 8.8**
C	10.3±4.1	14.6±3.7	50.2	7.5±1.9	7.5±1.7	6.4	3.0±0.8	2.7±1.0	^{a)} 18.5**
D	9.8±4.2	15.3±5.2	63.7	7.1±1.6	7.2±0.8	7.0	2.7±0.4	2.4±0.6	^{a)} 14.7**

A: Pb 0mg/kg, CO₂ 380ppm; B: Pb 500mg/kg, CO₂ 380ppm; C: Pb 0mg/kg, CO₂ 760ppm; D: Pb 500mg/kg, CO₂ 760ppm
*P < 0.05, **P < 0.01, ***P < 0.001

^{a)} Minus growth rate

양과 가장 비슷한 조건이 A군의 성장률이 CO₂와 Pb 농도가 증가한 다른 조건들보다 무게, 길이, 폭 모두가 가장 큰 성장률을 보였다. 31일 후 네 군의 공벌레 폭의 성장률은 통계적으로 유의한 차이가 있었으며($P < 0.01$), 사후 검정 결과 A군이 다른 세 군과 차이를 보였다. A군은 무게가 증가함에 비해 길이와 폭이 감소하였고, B, C, D군은 무게와 길이는 증가하나 폭은 감소하였다.

2. 공벌레의 성장 추이 비교

2차 실험에서 31일간 네 실험군의 공벌레의 성장 변화를 관찰하고 비교하였다(Table 2-4). CO₂와 Pb 농도가 모두 높은 D군의 공벌레는 20일 후 전 개체가 사망하였다. 따라서 16일까지 시간에 따른 네 군의 공벌레 성장 변화에 유의한 차이가 있는지

알아보기 위하여 repeated measure ANOVA를 실시하였다.

A군의 무게는 16-24일에 최고로 증가하였으며 (25.14-26.00%) B, C, D군의 무게는 A군에 비해 현저히 낮은 것으로 조사되었다($P < 0.05$). 곤충의 키 또한 A군이 16-24일에 최고로 증가하였으며 (8.07-8.29%), B, C, D군의 무게는 A군에 비해 낮게 나타났다($P < 0.01$). 폭 역시 A군이 16-24일에 최고로 증가하였으며(3.50-3.71%) B, C, D군의 무게는 A군에 비해 조금 성장하였다($P < 0.01$). Duncan's multiple range test 결과 A군과 C군에서 통계적으로 유의한 차이가 있었다.

Table 2. Average growth change rate of body weight of *Armadillium vulgare* samples

Days	Initial	3	6	9	12	16	20	24	28	31
* A	21.30±7.80	23.67±6.86	24.07±6.87	23.73±7.93	23.20±8.77	25.14±7.71	26.00±9.54	25.71±7.45	22.00±2.94	22.00±2.58
numbers	20	18	16	16	16	15	14	14	14	14
B	19.35±4.68	20.41±4.86	20.31±4.84	20.75±2.82	19.67±4.03	19.20±3.96	18.80±3.70	20.50±3.87	22.00±8.49	19.50±4.95
numbers	20	17	17	17	16	16	15	14	13	13
* C	18.15±5.40	17.00±5.56	16.27±5.53	16.75±6.61	18.43±7.81	17.33±9.09	18.33±8.50	20.20±7.29	19.75±8.42	20.75±9.54
numbers	20	19	19	18	17	16	16	15	14	14
D	16.65±5.33	18.92±4.03	18.50±4.87	19.14±5.08	19.60±5.27	20.00±6.38	-	-	-	-
numbers	20	16	15	14	11	10	0	0	0	0

A: Pb 0mg/kg, CO₂ 380ppm; B: Pb 500mg/kg, CO₂ 380ppm; C: Pb 0mg/kg, CO₂ 760ppm; D: Pb 500mg/kg, CO₂ 760ppm.
 All *Armadillium vulgare* in D group died after 20th day.
 * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$

Table 3. Average growth change rate of length of *Armadillium vulgare* samples

Days	Initial	3	6	9	12	16	20	24	28	31
** A	7.78±0.79	7.75±0.71	7.93±0.78	7.82±0.93	7.75±1.03	8.14±0.85	8.29±0.99	8.07±0.79	7.50±0.41	7.75±0.65
numbers	20	18	16	16	16	15	14	14	14	14
B	7.53±0.60	7.15±0.58	7.27±0.63	7.38±0.23	7.33±0.61	7.50±0.61	7.40±0.42	7.38±0.25	7.75±1.06	7.50±0.71
numbers	20	17	17	17	16	16	15	14	13	13
** C	7.23±0.91	6.71±0.94	6.91±0.92	6.88±1.06	6.86±0.94	6.83±1.17	7.42±1.72	7.20±0.84	7.50±1.29	7.50±1.58
numbers	20	19	19	18	17	16	16	15	14	14
D	6.85±0.84	7.12±0.62	7.13±0.69	7.21±0.64	7.30±0.84	7.63±0.75	-	-	-	-
numbers	20	16	15	14	11	10	0	0	0	0

A: Pb 0mg/kg, CO₂ 380ppm; B: Pb 500mg/kg, CO₂ 380ppm; C: Pb 0mg/kg, CO₂ 760ppm; D: Pb 500mg/kg, CO₂ 760ppm.
 All *Armadillium vulgare* in D group died after 16th day.
 * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$

Table 4. Average growth change rate of width of *Armadillium vulgare* samples

Days	Initial	3	6	9	12	16	20	24	28	31
** A	3.33±0.37	3.41±0.49	3.43±0.47	3.41±0.49	3.40±0.52	3.50±0.65	3.57±0.53	3.71±0.49	3.25±0.50	3.38±0.48
numbers	20	18	16	16	16	15	14	14	14	14
B	3.15±0.29	3.15±0.29	3.19±0.33	3.25±0.27	3.17±0.41	3.10±0.22	3.10±0.22	3.13±0.25	3.25±0.35	3.25±0.35
numbers	20	17	17	17	16	16	15	14	13	13
** C	3.13±0.51	2.92±0.42	3.00±0.39	2.94±0.42	2.93±0.45	2.92±0.74	3.17±0.61	3.10±0.55	3.25±0.65	3.38±0.48
numbers	20	19	19	18	17	16	16	15	14	14
D	2.93±0.34	3.04±1.72	3.13±0.35	3.15±0.38	3.20±0.45	3.00±0.41	-	-	-	-
numbers	20	16	15	14	11	10	0	0	0	0

A: Pb 0mg/kg, CO₂ 380ppm; B: Pb 500mg/kg, CO₂ 380ppm; C: Pb 0mg/kg, CO₂ 760ppm; D: Pb 500mg/kg, CO₂ 760ppm.
 All *Armadillium vulgare* in D group died after 16th day.
 *P < 0.05, **P < 0.01, ***P < 0.001

3. 12주 후 토양의 물리화학적 성질과 공벌레 Pb 축적 변화

2차 실험에서 Pb 오염과 CO₂의 영향별로 12주 후 토양의 유기물함량(OM), pH, 수분함량(MC) 양이온치환용량(CEC)의 변화를 살펴보았다(표 5). 유기물함량과 수분함량은 초기토양과 12주 후 토양 사이에 큰 변화가 없었다. 또한 Pb 비오염구(A, C)의 pH는 31일 후 높아졌으나 Pb 오염구(B, D)는 12주 후 약간 감소하는 경향을 보였을 뿐 처리구별 변화는 보이지 않았다. CEC는 12주 후 토양이 초기 토양보다 매우 높아졌으며, Pb 오염구가 Pb 비오염구보다 낮았다(P < 0.05). 또한 네 개의 군 모두 초기 보다 토양의 Pb 함량이 감소하는 것을 확인할 수 있었으나, CO₂ 농도가 토양 중 잔존 Pb 농도에는 크게 영향을 미치지 않았다(표 6). 반면 공벌레가 체내에 축적하는 Pb 농도는 B군과 D군이 시간이 지

Table 5. The change of pH, organic matter(OM), and cation exchange capacity (CEC) in soil samples

Soil sample	pH (1:5)	MC (%)	OM (%)	CEC (meq/100g)
Initial	4.2±0.2	7.2±0.2	2.8±1.0	2.0±0.7
A	5.0±0.2	10.0±2.2	2.8±0.5	3.5±0.4**
B	4.0±0.5	9.8±0.5	2.5±0.4	3.2±0.5*
C	4.5±0.5	8.8±1.5	2.9±0.5	4.2±0.5*
D	3.9±0.7	8.5±0.8	2.6±0.8	4.0±0.8*

A: Pb 0mg/kg, CO₂ 380ppm; B: Pb 500mg/kg, CO₂ 380ppm; C: Pb 0mg/kg, CO₂ 760ppm; D: Pb 500mg/kg, CO₂ 760ppm.
 *P < 0.05, **P < 0.01, ***P < 0.001

Table 6. Concentration of Pb in soil samples

Soil sample	Total (µg/g)	Soluble (µg/g)	Exchangeable (µg/g)
Initial-Pb 0mg/kg	14.9±1.9	0.5±0.01	7.2±0.1
A	7.5±0.9**	n.d	3.8±0.7
C	6.8±0.7*	n.d	3.4±0.2
Initial-Pb 500mg/kg	498.5±5.4	4.7±0.5	94.2±19.5
B	398.5±1.4**	3.5±0.2	75.2±15.4
D	424.4±1.8**	2.7±0.7	88.5±2.7

A: Pb 0mg/kg, CO₂ 380ppm; B: Pb 500mg/kg, CO₂ 380ppm; C: Pb 0mg/kg, CO₂ 760ppm; D: Pb 500mg/kg, CO₂ 760ppm.
 *P < 0.05, **P < 0.01, ***P < 0.001

Table 7. Pb concentration after 31 days in *Armadillium vulgare*

	Time(days)	Pb total increase after 31 days (µg/g)
Initial	0	0
	9	0
	20	0
	31	0
A	9	10.9±0.1
	20	55.9±5.6
	31	66.1±7.2
B	9	0
	20	0
	31	0
C	9	0.8±0.1
	20	81.1±3.1

A: Pb 0mg/kg, CO₂ 380ppm; B: Pb 500mg/kg, CO₂ 380ppm; C: Pb 0mg/kg, CO₂ 760ppm; D: Pb 500mg/kg, CO₂ 760ppm.
 *P < 0.05, **P < 0.01, ***P < 0.001

남에 따라 증가하였으며, 20일 후에는 CO₂와 Pb가 모두 높은 조건인 D의 값이 Pb만 높은 조건인 B보다 더 높았다(표 7). 이는 20일 이후 D군의 공벌레 생존환경이 악화되어 모든 개체가 사망한 것으로 해석된다.

IV. 고 찰

CO₂의 증가에 대한 미소동물의 반응은 대기 중 CO₂에 의한 직접적인 영향보다는 식물의 광합성, 생체량 증가에 따른 미소동물의 반응과 식물에 의한 토질, 뿌리 삼출물의 변화에 의한 미소동물의 반응이라 할 수 있다. 공벌레는 토양과 접촉하면서 섭식 및 배설 활동을 통해 토양 생태계의 물질 순환에 중요한 역할을 하며, CO₂나 중금속 등 외부환경 요인이 토양의 질에 영향을 미칠 경우 공벌레가 받는 영향에 대해서도 생각해볼 수 있다.

일반적으로 토양에서 중금속의 존재 여부는 total concentration에 기초를 두고 있다. 금속의 solubility에 영향을 미치는 인자는 토양의 화학적 특징인 pH, CEC, 토양구성성분, 유기물함량 등을 포함한다(Lagerwerff, 1972; Sing and Bhati, 2003). 실험 12주 후에 토양의 물리화학적 성질은 Pb 오염구보다 Pb 비오염구가 더 높은 값을 보였다. 수분함량과 pH는 CO₂ 증가구보다는 CO₂ 비증가구가 더 높은 값을 보였으며, 유기물함량과 CEC는 CO₂ 증가구가 더 높은 값을 나타내었다(표 5). CO₂ 증가구에서 pH가 낮아진 것은 CO₂ 증가로 인해 소나무의 뿌리 활성도가 커져 식물이 분비하는 삼출물이 더 증가했기 때문인 것으로 보이며, Pb는 가수분해 활성이 높고 토양에 대한 흡착력이 강하여 pH가 감소해도 다른 중금속에 비해 매우 낮은 용해도를 가지며, 토양 내 이온치환을 통해 토양을 지속적으로 산성화시킨다.

8주간 CO₂와 Pb에 노출시킨 microcosm에 투입한 공벌레의 무게, 폭, 길이의 성장을 관찰한 결과 A군은 B, C, D군에 비해 높은 성장률을 보였으며, 공벌레가 유체에서 성체로 전환되는 과정에 무게의

변화가 특징적으로 나타나나 무게의 성장에 비해 길이 및 폭의 성장은 더뎠다. 또한 공벌레의 성장률 값의 변화폭이 큰 것으로 볼 때 이들의 성장에 있어 다양한 단계가 있는 것으로 사료된다. 실제로 공벌레를 비롯한 토양미소동물 및 곤충은 성장에 있어 여러 번의 변화가 있는 것으로 조사되었다(Marco *et al.*, 2004; Hussein *et al.*, 2006).

대기 중의 Pb 농도는 실제로 토양에 유입되는 양이 미량일 지라도 토양에 사는 절지동물의 생존에는 큰 영향을 미친다(Donker *et al.*, 1998; Abdel-Lateif, 1998; Odendaal and Reinecke, 2004). 본 연구에서는 Pb가 함유된 토양에 서식하는 공벌레 생체 내의 Pb 축적 농도를 구하였다. 연구결과 이들 생체 내 축적된 Pb의 농도로 인해 공벌레의 Pb 축적농도가 높은 비율로 나타났다(표 6). Pb나 Cd 등 다른 중금속 농도가 높게 함유된 토양에 서식하는 절지동물은 다른 지역에 서식하는 동물에 비해 성장속도가 매우 더디게 나타났다는 연구 결과도 있다(Tomita *et al.*, 2004; Zidar *et al.*, 2004). 또한 본 연구에 의하면 Pb 농도를 500mg/kg로, 대기 중의 CO₂ 농도를 증가시켰을 경우 이들로 인한 복합적인 악영향이 발생함을 알 수 있었다. Pb의 농도 500mg/kg과 대기 중 CO₂ 농도 380ppm을 복합적으로 처리한 D군의 공벌레가 20일 이후에 생존하지 못한 것을 볼 때 CO₂ 조건과 Pb 조건이 기존 조건보다 악화되었을 때 공벌레에 부정적인 영향을 미치는 것으로 해석된다(표 7). 2006년 미국 EPA의 연구에 의하면 토양 중 Pb 농도가 대기 오염과 복합적으로 작용한 경우 공벌레 등 토양미소동물의 물질 분해 속도나 번식률이 영향을 받는 것으로 조사되었다.

사 사

본 연구과제는 SWRRC(1-0-3), ERC(2009-1419-1-6) 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- 조재범, 현재혁, 2001, 토양 중 중금속 거동에 대한 휴믹산과 인산염의 영향, 한국폐기물학회지, 18, 526-531.
- Abdel-Lateif, H. M., M. H. Donker, and N. M. Van Straalen, 1998, Interaction between temperature and cadmium toxicity in the isopod *Porcellio scaber*, Functional Ecology, 12(4), 521-527.
- Donker, M. H., Abdel-Lateif, Hala M., Khalil, Mohamed A., Bayoumi, Bayoumi M., Van Straalen, and Nico, M., 1998, Temperature, physiological time, and zinc toxicity in the isopod *Porcellio scaber*, Environmental toxicology and chemistry, 17(8), 1558-1563.
- EPA, 2006. www.epa.gov/
- Hattenschwiler, S. and D. Bertscher, 2001, Isopod effects on decomposition of litter produced under elevated CO₂, N deposition and different soil types, Global Change Biology, 7:, 565-579.
- Hussein, M. A., A. H. Obuid-Allah, A. H., Mohammad, J. Scott-Fordsmand, and K. F. Abd El-Wakeil, 2006, Seasonal variation in heavy metal accumulation in subtropical population of the terrestrial isopod, *Porcellio laevis*, Ecotoxicology and Environmental Safety, 63, 168-174.
- Lagerwerff, J. V., 1972, Pb, Hg and Cd as contaminants. In: Mortvedt J. J., Giordano P. M, Lindsay W. L(eds), Micronutrients in agriculture. Soil Science Society of America Journal Madison, 593-636.
- Marco A. L., J. C. Mauricio, and F. Bozinovic, 2004, Dietary effects on life history traits in a terrestrial isopod: the importance of evaluating maternal effects and trade-offs, Oecologia, 138(3), 387-395.
- Mohan, J. E., L. H. Ziska, W. H. Schlesinger, R. B. Thomas, R. C. Sicher, K. George, and J. S. Clark, 2006, Biomass and toxicity responses of poison ivy (*Toxicodendron radicans*) to elevated atmospheric CO₂. Proceedings of the National Academy of Sciences, USA 103, 9086-9089.
- Neuhauser E. F. and R. Hartenstein, 1978, Phenolic content and palatability of leaves and wood to soil isopods and diplopods, Pedobiologia, 18, 99-109.
- Odendaal, J. P. and A. J. Reinecke, 2004, The Sublethal Effects and Accumulation of Cadmium in the Terrestrial Isopod *Porcellio laevis* Latr (Crustacea, Isopoda), Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 36(1), 64-69.
- Shaun A. W. and N. M. Dickinson, 1995, Dispersal and mobility of heavy metals in relation to tree survival in an aerielly contaminated woodland soil, Environmental Pollution, 90(2), 135-142.
- Singh, G. and M. Bhati, 2003, Mineral toxicity and physiological functions in tree seedlings irrigated with effluents of varying chemistry in sandy soil of dry region, Journal of Environmental Science and Health, Part C., 21, 45-63.
- Stephen G. A., S. B. Idso., B. A. Kimball, and M. G. Anderson, 1988, Relationship between growth rate and net photosynthesis of *Azolla* in ambient and elevated CO₂ concentrations. Agriculture, Ecosystems & Environment,

- 20(2), 137-141.
- Tomita, M., R. Heisey, R. Witkus, and G.M. Vernon, 2004, Growth retardation and elemental differences in juvenile *Armadillidium vulgare latreille* exposed to lead nitrate, *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 48(1), 70-76.
- Zidar. P., D. Drobne, J. Štrus, C. A. M. Van Gestel and M. Donker, 2004, Food selection as a means of Cu intake reduction in the terrestrial isopod *Porcellio scaber* (Crustacea, Isopoda), *Applied Soil Ecology*, 25, 257-265.

최종원고채택 10. 11. 05